

泉州湾河口湿地土壤脲酶和磷酸酶活性研究

吴沿友^{1,2}, 廖群¹, 朱咏莉¹, 刘荣成¹, 张娜¹, 梁铮¹

(1 现代农业装备与技术 省部共建教育部重点实验室/江苏省重点实验室, 江苏大学农业工程研究院, 江苏 镇江 212013;
2 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002)

摘要: 本文对泉州湾河口湿地不同区域(上游、中游和下游)、不同红树植被下土壤脲酶和磷酸酶活性在不同季节的变化规律进行了研究。结果表明: 土壤脲酶和磷酸酶活性存在极显著的相关性; 两种酶在不同区域间均无显著差异, 季节变化均表现为春季大于秋季; 有红树植被的土壤脲酶和磷酸酶活性皆大于空地和裸地, 土壤脲酶不同红树植被下无显著差异, 磷酸酶则表现为百年生桐花树和互花米草显著高于其余植被, 秋茄和白骨壤次之。随着土壤垂直深度的增加, 脲酶和磷酸酶活性整体上表现为逐渐降低的趋势, 湿地土壤脲酶和磷酸酶活性受植被类型和根系生长状况显著影响。以上结果为泉州湾河口湿地的生态修复与环境保护提供了一定的理论依据。

关键词: 湿地; 红树林; 脲酶; 磷酸酶

中图分类号: S154.4 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2009)04-0355-05

土壤酶催化土壤生化反应, 几乎参与了所有土壤的重要代谢过程^[1], 由于其具反应灵敏、测定方便等优点, 已成为评价土壤质量的一个有力工具^[2], 因此对土壤酶活性的研究具有重要意义。

植物与土壤环境相互适应, 土壤脲酶和磷酸酶活性与肥力之间存在着密切的关系^[3], 与氮素和磷素的供应具有一定的相关性, 不同植被类型下的土壤酶活力显著不同^[4-6]。湿地系统有着独特的生态环境, 其土壤酶活性也具有特定的时空分布规律, 土壤酶的活力也因湿地植被的不同而呈明显的差异^[7,8]。

近年来, 泉州湾河口湿地开展大规模的湿地修复工作, 植物群落分布发生明显的变化^[9,10]。为了了解红树林湿地修复对土壤环境的影响, 本文研究了福建泉州惠安河口湿地不同季节(春季和秋季)、不同区域(上游、中游和下游)、不同植被下土壤脲酶和磷酸酶活性的变化规律, 并比较分析酶活性变化及其与植被分布之间的关系, 以期为泉州湾河口湿地各类红树植物的环境适应性研究提供必要的数据支持和理论依据, 对进一步开展泉州湾河口湿地的

生态修复与环境保护工作具有积极的指导意义。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

本研究的红树林土壤采自福建省惠安县洛阳江河口湿地(约东经 118°46', 北纬 24°50')。该红树林分布着桐花树(*Aegiceras corniculatum*)、秋茄(*Kandelia candel*)和白骨壤(*Avicennia marina*)三种主要植物, 其中桐花树在本试验中分两类: 近年生桐花树和百年生桐花树, 前者指近年来栽种的桐花树, 而后者则有上百年历史, 树林茂密且枝干粗大, 根系较前者发达, 在下游区含有杂草种互花米草(*Spartina alterniflora*)。该湿地位于惠安县西南部, 是典型的浅水型河口半封闭港湾, 水区受潮汐变化明显, 总面积 876.9 hm², 其中滩涂面积 568.5 hm², 水域面积 308.4 hm²。年均气温 19.2 °C, 1月平均气温为 12.1 °C, 4月平均气温为 20.4 °C, 7月平均气温为 27.1 °C, 11月平均气温为 19.3 °C, 极端最低气温为 2.1 °C, 极端最高气温为 37 °C, 全年几乎无霜, 年均降水量 1120 mm, 主要集中在 5~6

收稿日期: 2009-03-26; 改回日期: 2009-10-12

基金项目: 福建省科技计划项目

第一作者简介: 吴沿友(1966—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 专业方向: 环境地球化学。E-mail: yanyouwu@ujs.edu.cn

月,年均蒸发量约 2000 mm,土壤盐度为 3.5 ‰~28.9 ‰。

1.2 研究方法

1.2.1 取样方法

将泉州湾红树林湿地区域(图 1)设置分为上游(屿头村)、中游(西方村)、下游(白沙村),湿地研究区微地貌图形见图 1。分两个时间段 2007 年 4 月(春季)和 2007 年 11 月(秋季)依次定点采集洛阳江上、中、下游桐花树、秋茄、白骨壤和互花米草植被群下的土壤,同时采集空地(种过植物但已被破坏)和裸地(新淤积的滩涂)土壤作对比试验,两次采样在相同的位置。每种植被下采集 3 个重复,取样深度为 50 cm,每 10 cm 为一层,分为五层。3 个重复按相同层次等比例混匀,带回实验室,一部分放入冰箱冷藏保存,一部分进行风干,并及时测量酶活性,同时测定土壤含水率,每个层次土样平行测试三次。以下不同代号的字母 U、M、D 和 Ac、CA、Am、Kc、Sa、Na、Bl 分别代表上游(Upstream)、中游(Midstream)、下游(Downstream)和近年生桐花树(*Aegiceras corniculatum*)、百年生桐花树(Centenary *Aegiceras corniculatum*)、白骨壤(*Avicennia marina*)、秋茄(*Kandelia candel*)、互花米草(*Spartina alterniflora*)、裸地(new alluvial soil without plants)、空地(Bared land)。

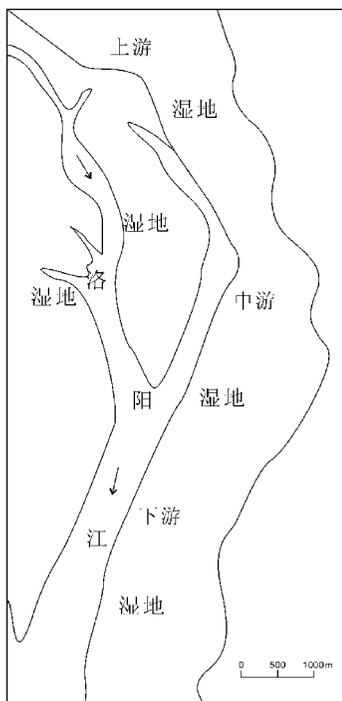


图 1 湿地研究区简图

Fig. 1 Sketch map of wetland

1.2.2 土壤酶活性分析方法

本试验采用氨气敏电极法测定土壤脲酶活性,磷酸苯二钠比色法测定中性磷酸酶活性^[1],实验所得数据运用统计软件 Excel 2003 及 SPSS 13.0 进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同区域和不同季节土壤脲酶和磷酸酶活性的变化

通过方差分析和 t 检验,可以发现不论是春季还是秋季,泉州湾河口湿地不同区域(上游、中游和下游)脲酶和磷酸酶的活性没有显著差异(表 1),这表明土壤脲酶和磷酸酶活性在不同区域之间无显著变化。

表 1 不同区域土壤脲酶和磷酸酶活性的变化

Tab 1. Changes of soil urease and phosphatase activities upon different streams

区域	春季脲酶活性	秋季脲酶活性	春季磷酸酶活性	秋季磷酸酶活性
U	94.87±6.90 (n=60)	65.57±4.27 (n=60)	6.37±0.19 (n=60)	3.74±0.11 (n=55)
M	105.15±3.89 (n=55)	58.70±5.62 (n=40)	6.82±0.18 (n=55)	3.91±0.15 (n=55)
D	107.40±4.29 (n=75)	69.66±3.09 (n=90)	7.23±0.15 (n=75)	3.85±0.15 (n=75)

注: 1) ±前后的数据分别为 3 次测定结果的平均值和标准误差(以下同)

2) 酶活性表示单位(以下同): 脲酶(NH₃-N mg / 100g dry soil, 30 °C, 24 h); 磷酸酶(P₂O₅ mg / 100g dry soil, 37 °C, 24 h)

从表 1 和表 2 中还可以看出,土壤脲酶和磷酸酶活性在春秋两季之间存在显著差异,且均表现为春季活性大于秋季。

2.2 不同植被土壤脲酶和磷酸酶活性的变化

植被对土壤的脲酶和磷酸酶活性有显著影响,有植被的土壤脲酶和磷酸酶平均活性均大于无植被的空地和裸地(表 2)。不论春季还是秋季土壤脲酶不同植被之间无显著差异。春季土壤磷酸酶不同植被之间无显著差异,而秋季的土壤磷酸酶不同植被之间却存在显著差异,互花米草和百年生桐花树秋季的土壤磷酸酶平均活性显著地大于秋茄和近年生桐花树,白骨壤介于秋茄和近年生桐花树之间。

2.3 不同层次土壤脲酶和磷酸酶活性的变化

图 2 表示的是春秋两季土壤脲酶活性的垂直变化情况。从中可以看出土壤脲酶活性的垂直变化有 3 种模式。第一种模式是春秋两季同为土壤酶活性

表 2 不同植被土壤脲酶和磷酸酶活性的变化

Tab 2 Changes of soil urease and phosphatase activities under different plants

植被	春季脲酶活性	秋季脲酶活性	春季磷酸酶活性	秋季磷酸酶活性
Ac	109.36±3.93b ** (n=45)	71.97±4.71b ** (n=30)	7.34±0.15b ## (n=45)	3.82±0.08b ## (n=30)
CA	144.04±6.93b ** (n=15)	95.92±5.13b ** (n=15)	7.93±0.27b ## (n=15)	5.14±0.25c ## (n=15)
Kc	120.05±7.85b ** (n=30)	91.51±3.49b ** (n=30)	7.61±0.17b ## (n=30)	4.37±0.12bc ## (n=30)
Am	136.14±6.79b ** (n=30)	83.63±5.52b ** (n=30)	7.30±0.18b ## (n=30)	3.86±0.11b ## (n=30)
Sa	105.6±3.160b * (n=15)	82.32±5.92b * (n=15)	7.52±0.37b # (n=15)	5.70±0.33c # (n=15)
Bl	60.70±3.52a ** (n=15)	40.61±1.84a ** (n=30)	5.32±0.18a ## (n=15)	2.88±0.08a ## (n=25)
Na	56.72±3.11a ** (n=40)	31.16±2.02a ** (n=40)	5.26±0.16a ## (n=40)	2.84±0.07a ## (n=40)

注 *表示脲酶春秋两季差异显著($p < 0.05$), **表示脲酶春秋两季差异极显著($p < 0.005$); #表示磷酸酶春秋两季差异显著($p < 0.05$), ##表示磷酸酶春秋两季差异极显著($p < 0.005$)。

随着土壤深度增加酶活性降低,即表层酶活性显著高于其他各层;这种模式的植物为近年生桐花树和秋茄,同时也包括无植被的空地和裸地。第二种模式是春季土壤酶活性各层之间无显著差异,而秋季表层酶活性高于其他各层;这种模式的植物包括白骨壤和互花米草。第三种模式是春秋两季土壤酶活性表层最低,30~40 cm 土层最高,尤其在秋季表现得极为显著;这种模式的植物为百年生桐花树。

图 3 表示的是春秋两季土壤磷酸酶活性的垂直变化情况。从中可以看出土壤磷酸酶活性的垂直变化也同样有 3 种模式。第一种模式也是春秋两季同为土壤表层酶活性高于其他各层;这种模式的植物

为互花米草,同时也包括无植被的空地和裸地。第二种模式也是春季土壤酶活性各层之间无显著差异,而秋季表层酶活性最高;这种模式的植物包括近年生桐花树、秋茄和白骨壤。第三种模式也是春秋两季土壤酶活性表层最低,30~40 cm 土层最高;这种模式的植物为百年生桐花树。

2.4 土壤脲酶和磷酸酶的关系

经综合分析得到本研究中脲酶和磷酸酶存在极显著的正相关关系($R^2 = 0.935, n = 195$),回归方程为 $y = 16.03x + 7.765$,其中 x 代表磷酸酶活性, y 代表脲酶活性,这表明泉州湾河口湿地的土壤脲酶和磷酸酶的变化基本趋于一致。

3 讨论

脲酶和磷酸酶活性变化规律均为春季高于秋季,这与春秋两季气候差异有关。春季气温高,光照时数多,有利于酶促作用的发生以及植物的生长发育;相反秋季平均气温较低,温差效应不明显,光照时数少,根系代谢相对缓慢,因此,春季酶活性显著大于秋季。这也与秋茄红树林土壤酶活性变化规律一致^[11]。

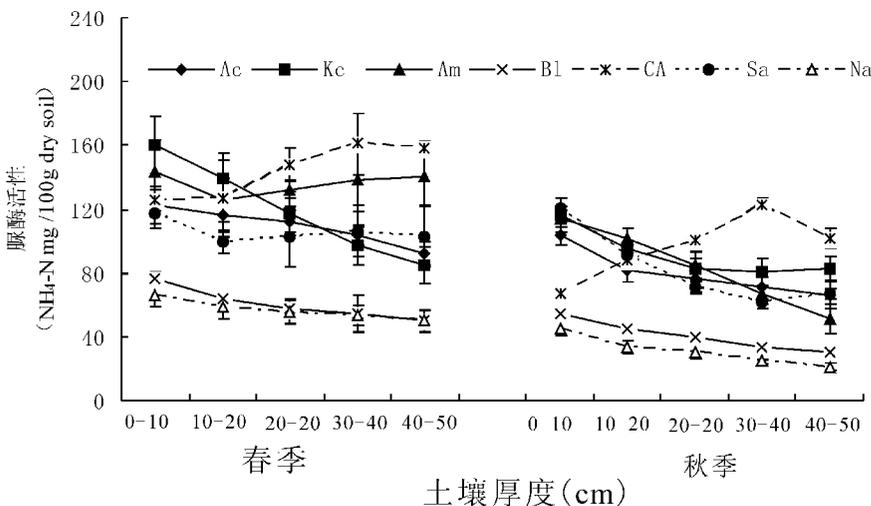


图 2 不同层次下各植被土壤脲酶活性的变化

Fig. 2 Change of soil urease activity at different depths

体和土壤动物及其遗骸是土壤酶的主要来源者^[12,13]。除多酚氧化酶外,根际土壤中的多数酶类的活性要高于非根际土壤,根际土壤酶活性增强与根系分泌物种类和数量及根际土微生物增殖较快、活性较高有关^[14]。因此,植物根系现存量与微生物活动决定着土壤脲酶和磷酸酶的活性。有红树植被的土壤脲酶和磷酸酶活性皆大于空地和裸地,这是与无植被的空地和裸地植被根系及其残体、根际分泌物以及微生物少有关;红树林的存在使土壤酶活性有较大的提高。

土壤酶活性与单位面积的植物现存量有关,植物现存量越大土壤酶活性越高^[11]。百年生桐花树已有上百年的历史,生长茂盛植株粗大,最高植株达到 205 cm,为该红树林区最高植物,其余植物平均 90 cm 左右,因此,百年生桐花树下的土壤酶活性高于除互花米草以外的其它植物覆盖的土壤酶活性。而互花米草由于分蘖繁殖速度快^[15],致使它的现存量在急剧增加,从而表现为土壤酶活性大于其它植被土壤(除百年生桐花树外)。

土壤脲酶、磷酸酶活性的垂直变化与不同深度的有机质及微生物活动、植物根系活力及分布有关。土壤表层积累了较多的枯枝落叶和腐殖质,微生物生长旺盛,代谢活跃而使表层的土壤酶活性较高^[13]。随着深度的加大土壤养分降低,空隙度变小,限制土壤生物的正常活动,使得酶活性也有所降低^[16]。百年生桐花树土壤脲酶、磷酸酶活性的垂直变化模式与它的根系的垂直分布模式有关。百年生桐花树与近年生桐花树不同的是其生长时间长,表层土壤淤积时间更长导致其根系基底抬高^[17],根长度平均约 80 cm,其分枝情况以及生长年份导致根较发达部分约在 30~40 cm 之间,因此呈现出土壤酶活性在 30~40 cm 土层最高的情形(图 4)。而近年生桐花树根系在该湿地为横向生长,淤泥较多累积在表层;白骨壤和互花米草在春季根系活力较弱,致使土壤酶活性在土层之间无显著差异。

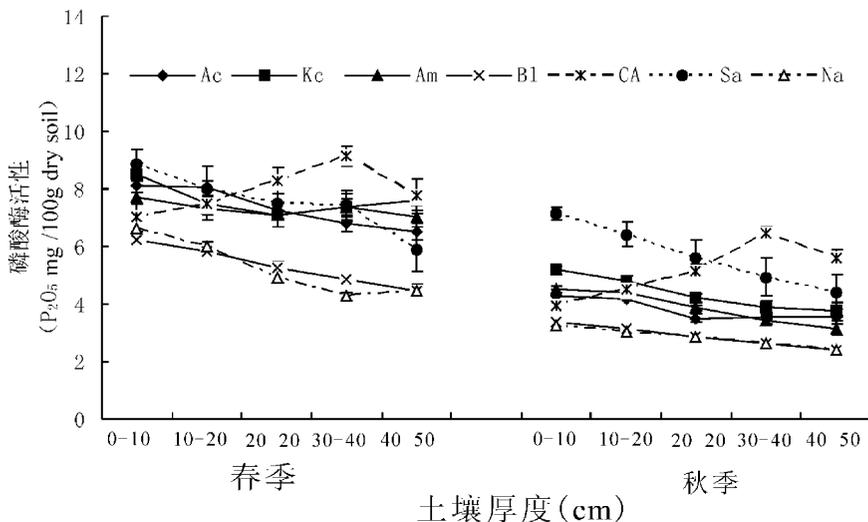


图 3 不同层次下各植被土壤磷酸酶活性的变化

Fig. 3 Change of soil phosphatase activity at different depths



图 4 不同植物根系

Fig. 4. Roots of different plants

(a. 百年生桐花树根系 b. 近年生桐花树根系)

4 结论

泉州湾河口湿地脲酶和磷酸酶活性表现明显的季节差异,均为春季大于秋季,这与春秋两季的气候差异有关;而不同区域间(上、中、下游),脲酶和磷酸酶活性均无显著差异;随着土壤垂直深度的增加,脲酶和磷酸酶活性整体上表现为逐渐降低的趋势,而百年生桐花树土壤则例外,这主要与其根系生长状况有关;植被种类和根系生长状况对土壤酶活性有显著影响,有红树植被的土壤脲酶和磷酸酶活性皆大于空地和裸地,土壤脲酶不同红树植被下无显著差异,磷酸酶则表现为百年生桐花树和互花米草显

著高于其余植被,秋茄和白骨壤次之;土壤脲酶和磷酸酶之间存在极显著的正相关关系。综上所述,泉州湾河口湿地土壤脲酶、磷酸酶活性受到植物分布

的强烈影响,这种影响又反过来影响植物的生长发育,泉州湾河口湿地这种相互作用制约着该生态系统中的氮、磷循环。

参 考 文 献

- [1] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986
- [2] Dick R P. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health[A]. In: Pankhurst CE, Doube BM, Gupta VVSR eds. Biological Indicators of Soil Health[C]. Wellingford: CAB International, 1997: 121—156
- [3] Sall S N, Chotte J L. Phosphatase and Urease activities in a tropical sandy soil as affected by soil water-holding capacity and assay conditions[J]. Soil Science and Plant Analysis, 2002, 33(19): 3745—3755
- [4] 唐艳, 杨林林, 叶家颖, 等. 银杏园土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 广西植物, 1999, 19(3): 277—281
- [5] Peruci P, Scarponi L and Businelli M. Enzyme activities in clay loam soil amended with various crop residue [J]. Plant and Soil, 1984, 81: 345—351
- [6] 任冠举, 孙庆业, 安树青, 等. 不同植物群落下酸化尾矿养分状况及土壤酶活性[J]. 生态学杂志, 2006, 25(4): 379—382
- [7] 刘存歧, 王伟伟, 李贺鹏, 等. 湿地生态系统中土壤酶的研究进展[J]. 河北大学学报(自然科学版) 2005, 25(4): 443—448
- [8] 何斌, 温远光, 袁露, 等. 广西英罗港不同红树植物群落土壤理化性质与酶活性的研究[J]. 林业科学, 2002, 38(2): 21—26
- [9] 林鹏. 中国红树林生态系统[M]. 北京: 科学出版社, 1997
- [10] 刘荣成, 洪志猛, 叶功富, 等. 泉州湾洛阳江滨海湿地的生态恢复与重建对策[J]. 福建林业科技, 2004, 31(3): 75—78
- [11] 张银龙, 林鹏. 秋茄红树林土壤酶活性时空动态[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1999, 38(1): 129—136
- [12] Frankenberger W T, Dick W A. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil[J]. Soil Sci. Soc Am J, 1983, 47: 945—951
- [13] Taylor J P, Wilson B, Mills M S. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface and subsoil using various techniques[J]. Soil Biol. & Biochem., 2002, 34: 387—401
- [14] 杨玉盛, 何宗明. 格氏栲天然林与人工林根际土壤微生物及其生化特性的研究[J]. 生态学报, 1998, 18(2): 198—202
- [15] 王智晨, 张亦默, 潘晓云, 等. 冬季火烧与收割对互花米草地上部分生长与繁殖的影响[J]. 生物多样性, 2006, 14(4): 275—283
- [16] 秦燕. 贺兰山西坡不同草地类型土壤酶活性特征[D]. 兰州: 兰州大学, 2007: 45—46
- [17] 郝建朝, 吴沿友, 连宾, 等. 不同植物下湿地土壤磷状况与植物脱磷效应[J]. 地球与环境, 2006, 34(1): 44—48

Soil Urease and Phosphatase Activities at Quanzhou Bay Estuarine Wetland

WU Yan-you^{1,2}, LIAO Qun¹, ZHU Yong-li¹, LIU Rong-cheng¹,
ZHANG Na¹, LIANG Zheng¹

(1 Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Institute of agricultural engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China; 2 State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences Guiyang 550002, China)

Abstract The seasonal urease and phosphatase activities in the soil under different mangrove plants and upon different plots (upstream, midstream and downstream) at Quanzhou Bay estuarine wetland were studied. The main results were as follows: There was significant correlation between the soil urease and phosphatase activities, which showed no significant difference upon different plots. The urease and phosphatase activities in the soil were higher in spring than autumn, which under mangrove plants were all higher than those in the New alluvial soil without plants and Bared land. Soil urease activity exhibited no significant difference under different mangrove species. The phosphatase activity in the soil of Centenary *Aegiceras corniculatum* (CA) and *Spartina alterniflora* (Sa) was the highest, which was the higher in the soil of *Kandelia candel* (Kc) and *Avicennia marina* (Am). The two soil enzyme activities generally decreased with increasing soil depth, and those in the soil at Quanzhou Bay estuarine wetland were closed relation to the plant species and root distribution of the mangrove forest. These findings offered a theoretical foundation for the environmental protection and ecological restoration of Quanzhou Bay estuarine wetland.

Key words wetland; mangrove; urease; phosphatase